

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
**(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)**  
**FACULTAD DE QUÍMICA, INGENIERÍA QUÍMICA É**  
**INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“Optimización de un Método para la Producción de Biomasa de *Saccharomyces cerevisiae* empleada en la etapa de Fermentación del Mosto de Cerveza, desde un nivel de Laboratorio a un nivel Piloto”**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico:**

**ALTAMIRANO CAHUANCAMA Carlos Alberto**

**Asesor: Ing.Quím. CÁRDENAS RUÍZ Jorge Luís**

**Co-Asesor: Dr.CCBlg. FLORES PAUCARIMA Abad**

**Lima – Perú**

**2013**

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del laboratorio de Microbiología Ambiental y Biotecnología de la facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

## DEDICATORA

A mis padres Dora y Aquilino  
por su preocupación permanente en  
Mi formación y superación personal.

A mi esposa Rosario por su tolerancia y respaldo  
en cada uno de los actos de mi vida.

A mis hijos José y Álvaro, que la presente estimule  
el sendero que transiten en sus vidas.

A mis hermanos Jadsón, Marco, Lino por su constante apoyo  
y estímulo en cada uno de los actos de mi vida .Mi eterno  
afecto y agradecimiento.

Al Dr. Abad Flores Paucarima, Maestro y amigo  
por su brillante intelectual y calidad humana mi  
admiración y eterno agradecimiento por  
servirme de ejemplo como hombre de Ciencia y  
formador del pensamiento crítico.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi eterna gratitud:

Dr. ABAD FLORES PAUCARIMA, Catedrático de la UNMSM responsable del Laboratorio de Microbiología Ambiental y Biotecnología Facultad de Ciencias Biológicas. Co-Asesor de Tesis.

Dr. JORGE CHÁVEZ PÉREZ, Catedrático y Director del Instituto de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular de la UNALM. Revisor Externo

Mg. GILBERTO SALAS COLOTTA, Catedrático y Director de Escuela de Ing. QUÍMICA de la UNMSM. Presidente del jurado de Tesis.

Mg. LEONCIO REYNA MARIÑAS, Catedrático y Director de Escuela de Ing. QUÍMICA de la UNMSM. Revisor de Tesis.

Ing. QUÍMICO JORGE LUÍS CÁRDENAS RUÍZ, Catedrático de la Facultad de Química Ingeniería Química e Ingeniería Agroindustrial de la UNMSM. Asesor de Tesis

## RESUMEN

La Esterilización es un proceso físico por el cual se consigue eliminar la carga microbiana acompañante y sus esporas que contaminan un medio de cultivo e instrumentos de laboratorio así también en la planta de procesos. Las características del material problema a esterilizar son de relevante importancia al momento de elegir entre los distintos métodos de esterilización, que se pueden emplear como son: Esterilización por calor seco, Esterilización por calor húmedo, Esterilización por Radiación Gama y UV, Esterilización por Filtración.

El aislamiento primario de células de *Saccharomyces cerevisiae* a partir de un cultivo contaminado es una práctica de gran relevancia para obtener un cultivo axénico. Las metodologías que se emplean son los sub cultivos directos, medios selectivos, sustancias químicas inhibitorias o el uso de discos de antibiótico, luego se identifican las unidades formadoras de colonia de *Saccharomyces cerevisiae* por su morfología característica debido a su comportamiento cultural de manera que todos los individuos del mismo cultivo tengan la misma composición genética, es decir un clon de células. Para posteriormente aislarlo y elegir la mejor metodología de conservación de cepas a largo plazo, conservación por congelación, conservación por liofilización o métodos de conservación a corto plazo, para conservar convenientemente el cepario de células de *Saccharomyces cerevisiae*.

Para llevar a cabo de manera óptima la producción del mosto de malta de cebada se utiliza la relación más conveniente de Agua/Malta de cebada (Cuadro 3) Los distintos perfiles de temperatura (Cuadro 4) y la (Figura 17) que actúan sobre la papilla de Agua/Malta de cebada para activar el complejo enzimático (Amilasa-Proteasa) que hidroliza las cadenas lineales y ramificadas de polisacáridos del almidón y de las proteínas. El pH Óptimo (Cuadro 5) que active el complejo enzimático para que las enzimas adquieran la conformación tridimensional que reconozca a su sustrato uniéndose e hidrolizando los enlaces glucosídicos y peptídicos de la malta. El grado de hidrólisis enzimático es función del Tiempo de actividad enzimática (Cuadro 6). Todas estas variables de operación actúan de manera sinérgica para obtener de manera óptima un caldo enriquecido (Cuadro 8) y (Cuadro 9) llamado mosto de malta de cebada.

La propagación de células de levadura a nivel de laboratorio (Figura 21) se realiza en caldo estéril de extracto de levadura, glucosa y peptona (YPG) bajo condiciones aeróbicas empleando aire estéril, control estricto de la temperatura para que la levadura *Saccharomyces cerevisiae* lo metabolice y sintetice su material celular propagándose en el medio de cultivo. El criterio aplicando de escalamiento (Figura 22)

por lo general es empleando un factor de alrededor de 1:10 para cada trasegado, y una concentración celular de  $10-15 \times 10^6$  células/mL.

La dilución sucesiva de una suspensión células de *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 28) es un procedimiento que permite bajar la carga de células en un rango que se pueda contar en cámara de Neubauer de manera cómoda y poder reportar de manera confiable el número de células que se encuentran en dicha suspensión celular.

La Tinción vital de Células de *Saccharomyces cerevisiae* (Figura 43) se fundamenta en la Bioquímica y es una técnica rápida que permite discriminar en un cultivo celular entre células que se encuentran en condiciones de vitalidad o activas metabólicamente frente a las células muertas que coexisten en el mismo cultivo celular (Figura 38).

El Recuento de levaduras totales y viables en cámara de Neubauer Improved (Figura 44) es una técnica de conteo celular directo en una celdilla cuadrada subdividida en la cual se deposita un cultivo celular diluido para ser enfocado al microscopio óptico, y proceder al recuento de células y reportar el número de células por campo y así obtener un promedio de células que se encuentran en la suspensión celular, por esta técnica no discriminamos entre células vivas de las muertas, pero si combinamos esta técnica con la de Tinción vital podríamos observar al microscopio las células decoloradas (células vivas) de las células no decoloradas (células muertas) y poder hacer un recuento en cámara de Neubauer y saber cuál es la concentración viable con que se está contando y si esta es óptima para ser utilizado como inóculo en la fermentación del Mosto de malta de cebada a nivel piloto (Figura 45).

La Propagación de levaduras en la planta piloto de Cervecería es una actividad donde confluyen la formación de Ingeniero Químico en sinergia con la Microbiología Industrial para poder diseñar y controlar de manera óptima minimizando los riesgos de contaminación del cultivo celular propagando la Biomasa de levadura hasta alcanzar un volumen del 10% del volumen del mosto de malta de cebada a inocular con una concentración celular de  $10-15 \times 10^6$  células vitales/mL para un óptimo proceso fermentativo del mosto de malta de cebada.

## INDICE GENERAL

	Pág.
Resumen	V
Índice de cuadros	IX
Índice de figuras	XI
Lista de abreviaturas	XIII
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>2</b>
2.1 LA CÉLULA DE LEVADURA <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2
2.1.1 Dimensión de las Células	3
2.2 CITOLOGÍA DE LA CÉLULA DE <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5
2.2.1 La pared celular	5
2.2.2 Espacio Periplasmático	6
2.2.3 Membrana Citoplasmática	6
2.2.4 El Núcleo Celular	10
2.2.5 Estructura de las Mitocondrias	11
2.3 OTRAS ESTRUCTURAS CITOPLASMÁTICAS	13
2.3.1 Las Vacuolas	13
2.3.2 Peroxisomas	13
2.3.3 El Retículo endoplasmático	13
2.3.4 El aparato de Golgi	13
2.3.5 El Citosol	13
2.3.6 El Citoesqueleto	14
2.4 EL MICROSCOPIO ÓPTICO	15
2.5 LAS ENZIMAS	18

2.5.1 Factores que modifican la velocidad de las Reacciones Enzimáticas	17
2.6 METABOLISMO CELULAR OXIDATIVO	20
2.7 VÍAS ANAERÓBICAS	22
2.7.1 Fermentación alcohólica.	22
2.7.2 La fermentación láctica	24
2.8 LA CIENCIA DE LA MACERACIÓN DEL MOSTO DE MALTA	24
2.8.1 Preparación de la malta	24
2.8.2 Producción del mosto de malta.	24
2.8.3 Fermentación	25
2.8.4 Procesamiento final	26
2.9 CONCEPTO DE DESINFECCIÓN Y ESTERILIZACIÓN	31
2.9.1 Desinfección	32
2.9.2 Esterilización	32
2.10 MÉTODOS DE ESTERILIZACIÓN	31
2.10.1 Esterilización por calor seco	31
2.10.2 Esterilización por calor húmedo	32
2.10.3 Esterilización por Radiación Gama y UV	33
2.10.4 Esterilización por Filtración.	33
2.11 CONCEPTO DE CULTIVO PURO	34
2.11.1 Método de aislamiento de Levaduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	34
2.11.2 Características culturales de la colonia de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	36
2.12 METODO DE CONSERVACIÓN DE CEPA	36
2.12.1 Métodos a largo plazo	37
2.12.1.1 Conservación por congelación	37
2.12.1.2 Conservación por liofilización	37
2.12.2 Método de conservación a corto plazo	37



2.13 CULTIVO Y PROPAGACIÓN CELULAR	38
2.13.1 Propagación de levadura en el laboratorio	39
2.13.2 Propagación de levadura en la planta de cervecería	40
2.13.3 Efecto Pasteur	42
2.13.4 Efecto Crabtree	43
2.14 CONCEPTO DE CULTIVO CELULAR VIABLE Y VITAL	43
2.14.1 Evaluación de la viabilidad de un cultivo de células de levadura	43
2.14.2 Evaluación de la vitalidad de un cultivo de células de levadura	44
2.15 MEDIDA DEL CRECIMIENTO Y ENUMERACIÓN DE MICROORGANISMOS VIABLES	45
2.15.1 Recuento directo	45
2.15.2 Medida de la masa de células	45
2.15.3 Recuento de viables	45
2.15.4 Medida del número de partículas	46
2.15.5 Medida de parámetros bioquímicos	46
2.15.6 Medida de actividad metabólica de las bacterias	46
2.16 TINCIÓN VITAL DE CÉLULAS DE <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	46
2.17 DILUCIÓN SERIADA DE LAS SUSPENSIONES CELULARES	47
2.18 CAMARA DE NEUBAUER IMPROVED PARA EL RECUENTO DE LEVADURAS	48
2.19 CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN CELULAR DEL INÓCULO	49
2.19.1 Ciclo de crecimiento para el cultivo por lotes	49
2.19.2 Cinética de crecimiento en un cultivo intermitente	51
2.20 ECUACIONES DE DISEÑO PARA EL BIORREACTOR IDEAL DISCONTINUO	53
2.20.1 Sistema Fermentativo de Operación por Lotes	54
2.20.2 Ventajas de un Sistema Fermentativo de Operación por Lotes	56
2.20.3 Desventajas de un Sistema Fermentativo de Operación por Lotes	56

<b>3. HIPÓTESIS</b>	57
<b>4. OBJETIVOS</b>	57
4.1 Objetivo general	57
4.2 Objetivos específicos	57
<b>5. METODOLOGÍA</b>	58
5.1 Plan de trabajo	59
5.2 Materiales y Métodos	60
5.2.1 Métodos de esterilización	60
5.2.1.1 Esterilización por calor seco	60
5.2.1.2 Esterilización de medios de cultivo por calor húmedo	60
5.2.1.3 Esterilización por Radiación Gama y UV	61
5.2.1.4 Esterilización por Filtración	61
5.2.2 Aislamiento primario de células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	62
5.2.3 Producción de mosto de malta de cebada	65
5.2.4 Propagación de células de levadura a nivel Laboratorio	65
5.2.4 Propagación de levaduras en la planta de Cervecería	67
5.2.5 Dilución de una suspensión de células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	67
5.2.6 Tinción vital de células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	70
5.2.7 Recuento de levaduras totales y viables en cámara de Neubauer Improved	71
5.2.8 Determinación de Azúcares Reductores	77
5.2.8.1 Titulación del Estándar de Glucosa	78
5.2.9 Modelo de regresión simple	79
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	80
6.1 Métodos de esterilización	80
6.1.1 Esterilización de instrumentos por calor seco	80

6.1.2 Esterilización de medios de cultivo por calor húmedo	80
6.1.3 Esterilización por Radiación Gama y UV.	81
6.2 Aislamiento primario de células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	81
6.3 Producción de mosto de malta de cebada	83
6.4 Reactivación y propagación de células de levadura a nivel Laboratorio	83
6.5 Dilución de una suspensión de células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	91
6.6 Tinción vital de células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	91
6.7 Recuento de levaduras totales y viables en cámara de Neubauer Improved	94
6.8 Propagación de levaduras en la planta piloto de Cervecería	95
<b>7. CONCLUSIONES</b>	104
<b>8. ANEXO</b>	105
8.1 LOS ORGANISMOS SON TRANSFORMADORES DE ENERGÍA	105
8.1.1 La Primera ley de la Termodinámica	106
8.1.2 La Segunda ley de la Termodinámica	107
8.1.3 Desequilibrio Metabólico: Clave de la vida	108
8.1.4 El Adenosín Trifosfato (ATP)	109
8.1.5 La célula puede realizar tres clases principales de trabajo	111
8.2 LAS ENZIMAS	112
8.2.1 Clasificación de las Enzimas	113
8.2.2 Sitio Activo	115
8.2.3 Mecanismo de Acción	116
8.2.4 La Glucólisis	116
8.2.5 Respiración aeróbica	118
8.2.6 Ciclo de Krebs	118
8.2.7 Transporte de electrones o Cadena respiratoria.	120
8.2.8 Fosforilación Oxidativa	121

8.2.9 Hipótesis Quimiosmótica	122
8.3 OTRAS VÍAS CATABÓLICAS	125
8.4 FACTORES FÍSICOS Y QUÍMICOS QUE INFLUYEN EN EL METABOLISMO CELULAR	126
8.4.1 Temperatura	126
8.4.2 Actividad de agua (aw)	127
8.4.3 Potencial de Hidrogeniones (pH)	128
8.4.4 Potencial Redox	129
8.5 MEDIOS DE CULTIVO.	130
8.5.1 En función de su consistencia:	130
8.5.2 En función de sus componentes nutricionales	131
8.5.3 Diseño de un medio de fermentación	131
8.5.4 Requerimientos Nutricionales	132
8.6 MICROBIOLOGÍA Y CONTROL MICROBIOLÓGICO EN LA INDUSTRIA CERVECERA	133
8.7 PRINCIPALES PUNTOS DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA	136
8.7.1 En las Materias primas	136
8.7.2 Durante la Fermentación	137
8.7.4 En el Equipo de Dispensado	138
8.8 BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA (BPM)	138
8.8.1 Limpieza e Higiene	139
8.8.2 Control sanitario de personal e instalaciones	140
8.9 ASEGURAMIENTO DE LA SEGURIDAD DE LA CERVEZA	144
8.10 ANÁLISIS DE PELIGROS MEDIANTE EL CONTROL DE PUNTOS CRÍTICOS (APCPC)	146
8.10.1 Materias primas	147
8.10.2 Durante el proceso	151

8.11 SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA	152
8.11.1 Envasado	152
8.11.2 Manejo de aguas residuales	153
8.11.3 Manejo de desechos	153
8.11.4 Sabotajes	154
8.12 ALERGENOS	154
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>156</b>

## INDICE DE CUADROS

	Pagina
CUADRO 1. Poder de resolución del Microscopio	15
CUADRO 2. Esquema bioquímico del proceso de fermentación	24
CUADRO 3. Tabla de la relación (Agua/Malta) del empaste en el mosto	26
CUADRO 4. Tabla Temperatura óptima para algunos procesos de empaste	26
CUADRO 5. Tabla Valores óptimos de pH en la empaste de infusión	27
CUADRO 6. Tabla de Cambios en los rendimientos con el tiempo de extracción.	27
CUADRO 7. Extractos y extractos de fermentación	28
CUADRO 8. Composición de carbohidratos en el mosto	29
CUADRO 9. Los aminoácidos libres en mosto de cerveza	30
CUADRO 10. Composición de Agar YPG suplementado con antibiótico	35
CUADRO 11. Condiciones de esterilización en auto clave	35
CUADRO 12. Característica cultural de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	36
CUADRO 13. Materias primas del mosto	58
CUADRO 14. Insumos para el aislamiento y propagación de biomasa	58
CUADRO 15. Plan de trabajo	59
CUADRO 16. Procedimiento de propagación de la levadura en el laboratorio	66
CUADRO 17. Propagación N°1 de Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> a nivel laboratorio	85
CUADRO18. Linealización N°1 de la función	86
CUADRO 19. Propagación N°2 de Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> a nivel laboratorio	87
CUADRO 20. Linealización N°2 de la función	88
CUADRO 21. Propagación N°3 de Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> a nivel laboratorio	89
CUADRO 22. Linealización N°3 de la función	90

CUADRO 23. Tinción vital N°1 de células <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	91
CUADRO 24. Tinción vital N°2 de células <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	92
CUADRO 25. Tinción vital N°3 de células <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	92
CUADRO 26. Tinción vital N°4 de células <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	92
CUADRO 27. Tinción vital N°5 de células <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	93
CUADRO 28. Tinción vital N°6 de células <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	93
CUADRO 29. Concentración celular en (células/mL) por el método de Neubaur	94
CUADRO 30. Propagación de Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en Biorreactor de Tanque Agitado	98
CUADRO 31. Linealización de la función	99
CUADRO 32. Propagación de Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en Biorreactor de Tanque Agitado	100
CUADRO 33. Linealización de la función	101
CUADRO 34. Propagación de Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en Biorreactor de Tanque Agitado	102
CUADRO 35. Linealización de la función	103
CUADRO 36. Diferencias entre catalizadores biológicos y químicos	113
CUADRO 37. Vitaminas hidrosolubles, sus coenzimas derivadas y sus funciones	114
CUADRO 38. Clasificación de las Enzimas	115
CUADRO 39. Ecuación de la Glucólisis	118
CUADRO 40. Balance parcial de la respiración	120
CUADRO 41. Resumen de la glucólisis y de la respiración	123
CUADRO 42. Clasificación de los Microorganismos en función de su temperatura Metabólica	126
CUADRO 43. Clasificación de los Microorganismos en función pH	128
CUADRO 44. El efecto bactericida Concentración -Temperatura-Tiempo	142

## INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Micrografía de células de levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	3
FIGURA 2. Relación entre área superficial y el volumen celular	4
FIGURA 3. Simplificación de la pared celular de la célula de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	6
FIGURA 4. Membrana plasmática de la célula de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	8
FIGURA 5. Molécula de Fosfolípido	9
FIGURA 6. Microfotografía electrónica de una mitocondria	11
FIGURA 7. Esquema de la ultra estructura de una mitocondria	12
FIGURA 8. Componentes estructurales de la célula de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	14
FIGURA 9. Componentes del microscopio Óptico	16
FIGURA 10. Esquema de un Microscopio Óptico	16
FIGURA 11. Velocidad de reacción enzimática Vs Concentración de sustrato	18
FIGURA 12. Efecto de la temperatura (a) y el pH (b) sobre la actividad enzimática	19
FIGURA 13. Perfil de una reacción en presencia de inhibidor competitivo y sin Inhibidor	19
FIGURA 14. Perfil de una reacción en presencia de inhibidor no competitivo y sin Inhibidor	19
FIGURA 15. Resumen del metabolismo de los glúcidos en células eucariotas	22
FIGURA 16. Esquema de una célula de levadura Cerveza en fermentación.	23
FIGURA 17. Curva de maceración Temperatura Vs. Tiempo	28
FIGURA 18. Tinción del Mosto de cerveza con solución de Yodo en Yoduro	29
FIGURA 19. Absorción de carbohidratos por la Levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30
FIGURA 20. Cepario de células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en medio Agar YPG	38



	Página
FIGURA 21. Componentes de un equipo Biorreactor a nivel de laboratorio	39
FIGURA 22. Escalamiento del cultivo celular de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	40
FIGURA 23. Dos tanques del sistema de propagación levadura cervecera	42
FIGURA 24. Dilución seriada de suspensión celular	48
FIGURA 25. Cámara de Neubauer Improved	48
FIGURA 26. Ciclo de crecimiento intermitente	51
FIGURA 27. Operación del sistema de fermentación por lote	54
FIGURA 28. Estriado por agotamiento sobre agar YPG	64
FIGURA 29. Metodología de la Dilución	69
FIGURA 30. Con número de Objetivo 4x	72
FIGURA 31. Con número de objetivo 10x	73
FIGURA 32. Con número de objetivo 40x	74
FIGURA 33. Sentido de conteo de células en cámara	75
FIGURA 34 Cultivo primario de Células contaminadas de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	82
FIGURA 35 Aislamiento de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en placa Petri Sobre Agar YPG suplementado con antibiótico Tetraciclina	82
FIGURA 36 Cepario e Inoculo de clones de Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	84
FIGURA 37. Propagación de Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Safale S-40 en medio de cultivo Mosto Cervecerero en frasco Carlsberg.	84
FIGURA 38. Grafica Ln N°Cel/ml Vs T(h) a nivel Laboratorio	85
FIGURA 39. Grafica de Concentración [s] Vs T (h) a nivel Laboratorio	86
FIGURA 40. Grafica Ln N° Cel/ml Vs T(h) a nivel Laboratorio	87
FIGURA 41. Grafica de Concentración [s] Vs T (h) a nivel Laboratorio	88

	Página
FIGURA 42. Grafica Ln N°Cel/ml Vs T(h) a nivel Laboratorio	89
FIGURA 43. Grafica de Concentración [s] Vs T (h) a nivel Laboratorio	90
FIGURA 44. Micrografía de la Tinción vital de células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	93
FIGURA 45. Muestra de Células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> sobre placa	95
FIGURA 46. Birreactor Batch modelo Tanque Agitado de capacidad Operativa de 1hL	96
FIGURA 47. Vista de perfil del Birreactor Batch modelo Tanque Agitado	97
FIGURA 48. Grafica Ln N°Cel/ml Vs T(h) a nivel piloto	98
FIGURA 49 Grafica de Concentración [s] Vs T (h) a nivel piloto	99
FIGURA 50 Grafica Ln N°Cel/ml Vs T(h) a nivel piloto	100
FIGURA 51 Grafica de Concentración [s] Vs T (h) a nivel piloto	101
FIGURA 52 Grafica Ln N°Cel/ml Vs T(h) a nivel piloto	102
FIGURA 53 Grafica de Concentración [s] Vs T (h) a nivel piloto	103
FIGURA 54 Flujo de energía y materia en un ecosistema	106
FIGURA 55 Molécula de (ATP)	109
FIGURA 56 El ciclo del ATP	109
FIGURA 57 Oxido-reducción de la coenzima NAD <sup>+</sup>	111
FIGURA 58 Tipos de trabajo celular que utilizan ATP	111
FIGURA 59 Perfil de energía de una reacción exergónica	112
FIGURA 60 Mecanismo de acción de una enzima	116
FIGURA 61 Resumen de las dos etapas de la glucólisis	117
FIGURA 62 Esquema simplificado del Ciclo de Krebs	119
FIGURA 63 Diagrama de la cadena respiratoria y de la Fosforilación Oxidativa asociada	121
FIGURA 64 Esquema comparativo de la quimiosmosis en la mitocondria y el cloroplasto.	123

	Página
FIGURA 65 Resumen de la Glucólisis y de la Respiración	124
FIGURA 66 Vías principales del catabolismo y anabolismo en la célula	125
FIGURA 67 Diagrama de flujo de la planta de producción de Cerveza	147